

A3

CHARGING RATE ESTIMATING DEVICE FOR SECONDARY BATTERY

Patent Number: JP2003075518
Publication date: 2003-03-12
Inventor(s): NAKAMURA HIDEO; YUMOTO DAJIRO
Applicant(s): NISSAN MOTOR CO LTD
Requested Patent: ☐ JP2003075518
Application Number: JP20010268327 20010905
Priority Number(s):
IPC Classification: G01R31/36; H01M10/48; H02J7/00
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a charging rate estimating device for a secondary battery capable of accurately estimating the charging rate SOC.

SOLUTION: In this charging rate estimating device for a secondary battery, adaptive a digital filter operation is performed by a battery model of continuous time series showing in the formula (formula 1) to estimate parameters collectively corresponding to an open circuit voltage V_0 as offset clause in the formula (formula 1) and $A(s)$, $B(s)$ as transient clause. The relationship among the current I , the terminal voltage V and open circuit voltage V_0 of the secondary battery is approximated by the transfer function showing in the formula (formula 1), and the clause of the open circuit voltage V_0 is regarded as an offset clause, whereby the adaptive digital filter of the least square method or the like can be applied. As a result, the parameters in the formula (formula 1) can be estimated collectively. Although these parameters are influenced by the charging rate SOC, temperature and degree of deterioration to be varied, estimation can be sequentially performed by the adaptive digital filter with good accuracy. $v=B(s)/A(s).I+1/A(s)V_0 \dots$ (formula 1) wherein, s is Laplace operator, and $A(s)$ and $B(s)$ are polynomial function of s .

Data supplied from the esp@cenet database - 12

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-75518

(P2003-75518A)

(43)公開日 平成15年3月12日(2003.3.12)

(51)Int.Cl.	識別記号	FI	テックード(参考)
G01R 31/36		G01R 31/36	A 2G016
H01M 10/48		H01M 10/48	P 5G003
H02J 7/00		H02J 7/00	X 5H030

審査請求 未請求 請求項の数8 OL (全26頁)

(21)出願番号 特願2001-288327(P2001-288327)

(22)出願日 平成13年9月5日(2001.9.5)

(71)出願人 000003997

日産自動車株式会社

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地

(72)発明者 中村 英夫

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産

自動車株式会社内

(72)発明者 湯本 大次郎

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産

自動車株式会社内

(74)代理人 100075753

弁理士 和泉 良彦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 二次電池の充電率推定装置

(57)【要約】 (修正有)

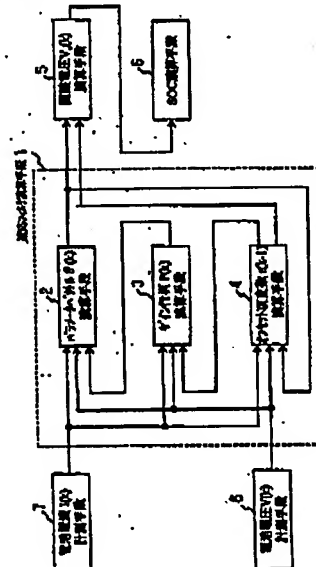
【課題】充電率SOCを正確に推定できる二次電池の充電率推定装置を提供する。

【解決手段】(数1)式に示す連続時間系の電池モデルを用いて、適応デジタルフィルタ演算を行い、(数1)式中のオフセット項である開路電圧 V_0 と過渡項である $A(s)$ 、 $B(s)$ に対応するパラメータを一括推定する二次電池の充電率推定装置。二次電池の電流 I と端子電圧 V と開路電圧 V_0 の関係を、(数1)式に示す伝達関数で近似して、開路電圧 V_0 の項をオフセット項とみなすことで、最小二乗法等の適応デジタルフィルタを適用することが可能となる。その結果、(数1)式中のパラメータを一括推定することが可能となる。これらパラメータは充電率SOCや温度や劣化度などに影響されて変化するが、適応デジタルフィルタにより精度良く逐次推定することができる。

$$V = \frac{B(s)}{A(s)} \cdot I + \frac{1}{A(s)} \cdot V_0 \quad \text{--- (数1)}$$

【ただし、 s はラプラス演算子、 $A(s)$ 、 $B(s)$ は、 s の多項式関数】

(図1)



(2) 開2003-75518 (P2003-755JL)

【特許請求の範囲】

【請求項1】二次電池の電流 I と端子電圧 V とを計測し、適応デジタルフィルタを用いて、前記電流 I と端子電圧 V の計測値から開路電圧 V_0 を推定し、予め求めた開路電圧 V_0 と充電率SOCとの関係に基づいて充電率を推定する充電率推定装置において、
下記(数1)式に示す連続時間系の電池モデルを用いて、適応デジタルフィルタ演算を行い、(数1)式中のオフセット項である V_0 および過渡項である $A(s)$ 、 $B(s)$ に対応するパラメータを一括推定することを特徴とする二次電池の充電率推定装置。

【数1】

$$V = \frac{B(s)}{A(s)} \cdot I + \frac{1}{A(s)} V_0 \quad \cdots (数1)$$

$$V_j = -\sum_{k=1}^N a_k \cdot V_{j-k} + \sum_{k=0}^N b_k \cdot I_{j-k} - \sum_{k=1}^P c_k \cdot r_{j-k} + e_j$$

--- (数2)

【数3】

$$V_0 = \frac{-\sum_{k=1}^P c_k}{1 + \sum_{k=1}^N a_k} \cdot r \quad \cdots (数3)$$

ただし、(数2)式、(数3)式において、
 V_{j-k} は k サンプリング周期前の端子電圧
 I_{j-k} は k サンプリング周期前の電流
 a_k 、 b_k 、 c_k は定数 r_{j-k} はオフセット項の仮変数
 N 、 P は次数 e_j は白色雑音

【請求項3】前記の推定した各パラメータから電池内部抵抗または電池時定数を求め、予め記憶してある電池内部抵抗と充電率のマップデータ、または電池時定数と充電率のマップデータに基づいて電池劣化度を推定することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の二次電池の充電率推定装置。

【請求項4】二次電池の電流を検出する手段と、二次電池の端子電圧を検出する手段と、前記電流検出値と前記端子電圧検出値とを、電池モデルを用いた適応デジタルフィルタに入力して開路電圧推定値を演算する開路電圧推定手段を複数個と、前記複数個の開路電圧推定手段を一定周期で順に初期化する初期化手段と、前記複数個の開路電圧推定手段の中から最新の開路電圧推定値を選択し、その値から予め求めた開路電圧と充電率SOCとの関係に基づいて充電率を推定する充電率推定手段と、を備えたことを特徴とする二次電池の充電率推定装置。

【請求項5】二次電池の電流を検出する手段と、

ただし、 s はラプラス演算子、 $A(s)$ 、 $B(s)$ は、 s の多項式関数

【請求項2】前記(数1)式に示す連続時間系の電池モデルを、離散時間系表現に変換した下記(数2)式で示される自己回帰型モデルを用いて、適応デジタルフィルタ演算を行い、各パラメータ(a_k 、 b_k 、 c_k 、 r_k)を一括推定し、さらに、下記(数3)式を用いて開路電圧 V_0 を推定演算することとを特徴とする請求項1に記載の二次電池の充電率推定装置。

【数2】

二次電池の端子電圧を検出する手段と、
二次電池の温度を検出する手段と、
前記電流検出値と前記端子電圧検出値とを、電池モデルを用いた適応デジタルフィルタに入力して開路電圧推定値を演算する開路電圧推定手段を複数個と、
前記温度検出値に基づいて、前記複数個の開路電圧推定手段のうちの最適な開路電圧推定手段を判定し、それを初期化する初期化手段と、
前記温度検出値に基づいて前記複数個の開路電圧推定手段のうちから最適な開路電圧推定値を選択し、その値から予め求めた開路電圧と充電率SOCとの関係に基づいて充電率を推定する充電率推定手段と、
を備えたことを特徴とする二次電池の充電率推定装置。

【請求項6】前記複数個の開路電圧推定手段の演算周期を相互に異なる時間に設定したことを特徴とする請求項5に記載の二次電池の充電率推定装置。

【請求項7】前記初期化手段は、最適な開路電圧推定手段が演算する開路電圧推定値を、開路電圧推定値の初期値とすることを特徴とする請求項4乃至請求項6の何れかに記載の二次電池の充電率推定装置。

【請求項8】前記初期化手段は、最適な開路電圧推定手段が演算した電池の内部抵抗推定値と、前記電流検出値と前記端子電圧検出値から、初期化時の開路電圧推定値を演算し、それを初期値とすることを特徴とする請求項4乃至請求項6の何れかに記載の二次電池の充電率推定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、二次電池の充電率(SOC)を推定する装置に関する。

【0002】

(3) 開2003-75518 (P2003-755JL)

【従来の技術】二次電池の充電率SOC（充電状態とも言う）は開路電圧 V_0 。（通電遮断時の電池端子電圧であり、起電力、開放電圧とも言う）と相関があるので、開路電圧 V_0 を求めれば充電率を推定することが出来る。しかし、二次電池の端子電圧は、通電を遮断（充放電を終了）した後も安定するまでに時間を要するので、正確な開路電圧 V_0 を求めるには、充放電を終了してから所定の時間が必要である。したがって充放電中や充放電直後では、正確な開路電圧 V_0 を求めることが出来ないで、上記の方法で充電率SOCを求めることが出来ない。そのため、従来は、下記のような種々の方法を用いて開路電圧 V_0 を推定している。

【0003】二次電池の充電率（SOC）を推定する技術に関する第一の公知例としては、特開2000-323183号公報に記載されたものがある。この公知例においては、所定時間にわたって、電池の端子電圧（単に電圧とも言う） V と電池が充放電される電流 I と電池の温度 T とを検出し、電流 I の積算値 Q とその変動幅 ΔQ を算出し、変動幅 ΔQ が所定値より小さい場合に限り、検出した電流 I と電圧 V を $I-V$ 直線（ $V=R \cdot I + V_0$ ）で近似し、その傾きから内部抵抗 R を算出し、また切片から電池の開路電圧 V_0 を算出し、予め測定しておいた開路電圧 V_0 と充電率SOCとの相関から、充電率SOCを算出する技術が記載されている。

【0004】また、第二の公知例（論文“適応デジタルフィルタを用いた鉛電池の開路電圧と残存容量の推定” 四国総研、四国電力、湯浅電池 T.IEEE Japan Vol.112-C, No.4 1992）に記載された電池状態検出手法は、通電中の二次電池（鉛電池やリチウムイオン電池等の充放電可能な電池）の端子電圧と電流の計測データに、「適応デジタルフィルタ」を用いて開路電圧 V_0 を推定（パラメータ同定）して、この値から電池の充電率SOCを推定するものである。

【0005】また、第三の公知例（特開2000-268886号公報）に記載された電池状態検出装置は、等価回路モデルを用いて、電池電圧推定値 V_m を算出し、計測された電池電圧 V との差異で、電流積算量（放電量）を補正して充電率SOCを推定し、このSOC推定値によって電池モデルのパラメータを修正する、という操作を繰り返すものであり、一種の適応アルゴリズムである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記のごとき従来例においては次のような問題があった。まず、第一の公知例において、変動幅 ΔQ が所定の変動幅より小さい場合でも、電池の開路電圧 V_0 は電流 I に応じて充放電している最中に時々刻々と変化する特徴がある。第一の公知例では、変動幅 ΔQ が所定値より小さい場合に限り充電率SOCを算出するという構成になっていたため、充電率SOCを算出できる機会が極めて少ないし、

無理に、変動幅 ΔQ が所定値より大きい場合に同様の推定を行っても推定誤差が極端に大きくなるという問題があった。

【0007】また、第二の公知例においては、実際の電池の物理特性とは全く異なる「非回歸型の電池モデル（出力値が入力値の現在値および過去値だけで決るモデル）」に相当する下記（数4）式に、「適応デジタルフィルタ（逐次型のモデルパラメータ同定アルゴリズム）」を用いて、（数4）式中のパラメータの一つである開路電圧 C_j を算出して、この値から充電率SOCを算出している。

【0008】

【数4】

$$V_j = \sum_{k=0}^N b_{k,j} \cdot I_{j-k} + C_j \quad \cdots \text{（数4）}$$

ただし、 V_j ：端子電圧 I_{j-k} ： k サンプル周期前の電流

C_j ：開路電圧 $b_{k,j}$ ：定数 N ：次数

そのため、実際の電池特性（入力：電流、出力：電圧）に応用した場合、電池特性によっては推定演算が全く収束しなかったり、真値に収束しないという問題があった。

【0009】また、第三の公知例においては、モデル推定誤差（ $V-V_m$ ）を用いて、電流積算値（放電量）のみをまず補正してSOC推定値を確定させてから、このSOCに応じて予め設定したマップに従って電池モデルの各パラメータ（開路電圧を除く）を修正するという構成になっていたため、モデル推定誤差（ $V-V_m$ ）には、当然、開路電圧 V_0 （起電力）および内部抵抗値 R や容量 C 等の全ての影響を受けており、これらを同時に配慮しないと誤った修正を行い真値に推定値が収束しない可能性が高いという問題があった。また、この公知例では、SOC推定値と計測温度のみからモデルパラメータ（開路電圧を除く）を算出するという構成になっていたため、電池劣化が、総容量やモデルパラメータに及ぼす影響が考慮されていないため、電池劣化の影響を受けてSOC推定精度が悪化しやすいという問題があった。

【0010】本発明は上記のごとき従来技術の問題を解決するためになされたものであり、充電率SOCおよびその他のパラメータを正確に推定することの出来る二次電池の充電率推定装置を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため本発明においては、特許請求の範囲に記載するように構成している。すなわち、請求項1においては、「適応デジタルフィルタ」（最小二乗法等を用いた逐次型モデルパラメータ同定手法）を用いて、電流 I と端子電圧 V の計測値から開路電圧 V_0 を推定し、予め求めた開路電圧 V_0 と充電率SOCとの関係に基づいて充電率を推定

(4) 開2003-75518 (P2003-755JL)

する充電率推定装置において、(数1)式に示す連続時間系の電池モデルを用いて、適応デジタルフィルタ演算を行い、(数1)式中のオフセット項である開路電圧 V_0 および過渡項である $A(s)$ 、 $B(s)$ に対応するパラメータを一括推定するように構成している。

【0012】また、請求項2においては、前記(数1)式に示した連続時間系の電池モデルを、離散時間系表現に変換した(数2)式で示される「自己帰帰型モデル」を用いて、適応デジタルフィルタ演算を行い、各パラメータ(a_k 、 b_k 、 c_k 、 r_k)を一括推定し、さらに、(数3)式を用いて開路電圧 V_0 を推定演算するように構成している。上記請求項1および請求項2の構成は、例えば後記実施例1に相当する。

【0013】また、請求項3においては、前記の推定した各パラメータから電池内部抵抗または電池時定数を求め、予め記憶してある電池内部抵抗と充電率のマップデータ、または電池時定数と充電率のマップデータに基づいて電池劣化度を推定するように構成している。この構成は例えば後記実施例2に相当する。

【0014】また、請求項4においては、電池モデルを用いた適応デジタルフィルタに電流検出値と端子電圧検出値とを入力して開路電圧推定値を演算する開路電圧推定手段を複数個と、複数の開路電圧推定手段を一定周期で順に初期化する初期化手段と、を備え、複数の開路電圧推定手段の中から最新の開路電圧推定値を選択し、その値から予め求めた開路電圧と充電率SOCとの関係に基づいて充電率を推定するように構成している。この構成は例えば後記実施例4に相当する。

【0015】また、請求項5においては、二次電池の温度を検出する手段と、電池モデルを用いた適応デジタルフィルタに電流検出値と端子電圧検出値とを入力して開路電圧推定値を演算する開路電圧推定手段を複数個と、前記温度検出値に基づいて、前記複数の開路電圧推定手段のうちの不適切な開路電圧推定手段を判定し、それを初期化する初期化手段と、を備え、温度検出値に基づいて複数の開路電圧推定手段のうちから最適な開路電圧推定値を選択し、その値から予め求めた開路電圧と充電率SOCとの関係に基づいて充電率を推定するように構成している。この構成は、例えば後記実施例3に相当する。

【0016】また、請求項6においては、前記複数の開路電圧推定手段の演算周期を相互に異なる時間に設定している。この構成も例えば後記実施例3に相当する。

【0017】また、請求項7においては、前記初期化手段は、最適な開路電圧推定手段が演算する開路電圧推定値を、開路電圧推定値の初期値とするように構成している。この構成は例えば後記実施例3や実施例4に相当する。

【0018】また、請求項8においては、前記初期化手段は、最適な開路電圧推定手段が演算した電池の内部抵

抗推定値と、前記電流検出値と前記端子電圧検出値から、初期化時の開路電圧推定値を演算し、それを初期値とするように構成している。この構成は例えば後記実施例3や実施例4に相当する。

【0019】

【発明の効果】請求項1に記載の発明においては、二次電池の電流 I と端子電圧 V と開路電圧 V_0 の関係を、(数1)式に示す伝達関数で近似して、開路電圧 V_0 の項を定常項(オフセット項)とみなす(定式化する)ことで、「最小二乗法」等の「適応デジタルフィルタ」(公知の推定アルゴリズム)を適用することが可能となる。その結果、(数1)式中のパラメータ(オフセット項である V_0 、および過渡項である $A(s)$ や $B(s)$ に対応するパラメータ)を一括推定することが可能となる。これらパラメータは、充電率SOCや温度や劣化度などに影響され、時々刻々変化するものであるが、適応デジタルフィルタにより精度良く逐次推定することが可能である。なお、例えば後記図5に示す開路電圧 V_0 と充電率SOCの関係は、温度や電池の劣化度に影響されにくく一定の相関関係にあるので、この特性を予め記憶しておけば、開路電圧 V_0 から充電率SOCが直接算出できる。したがって、充電率SOCについても開路電圧 V_0 と同様に、条件によらず正確な推定が可能である、という効果がある。

【0020】請求項2に記載の発明においては、具体的な方法の一つとして、連続時間系で記述された(数1)式の等価回路モデルを、離散時間系に変換する際に、オフセット項である開路電圧 V_0 を(数2)式の右辺第3項のように展開することで、拡大最小二乗法などの適応デジタルフィルタを適用することが可能となる。その結果、マイコン等による演算で推定処理が実行可能になる、という効果がある。

【0021】請求項3に記載の発明においては、充放電中でも、条件制約なく、常に精度の高い電池劣化度を推定できる、という効果がある。

【0022】請求項4に記載の発明においては、複数の開路電圧推定手段を備え、それらを一定周期で順に初期化するので、温度変化等で電池パラメータが変化した場合でも、最新に初期化された開路電圧推定手段によって開路電圧が推定できる。したがって、環境条件が変化した場合に、パラメータ推定値が電池パラメータの変化に追従することができる、という効果がある。

【0023】請求項5に記載の発明においては、複数の開路電圧推定手段(適応フィルタ)を備え、電池温度に基づいて不適切な開路電圧推定手段を判断し、それを初期化するので、温度変化で電池パラメータが変化した場合でも、初期化された開路電圧推定手段のパラメータ推定値が電池パラメータの変化に追従することができる。また、初期化の前後で推定値を切り替える際には、若干のハンチングを生じる可能性があるため、初期化は必要

(5) 開2003-75518 (P2003-755JL)

最小回数が望ましい。請求項5においては不適合になった開路電圧推定手段のみを初期化するので、初期化を必要最小回数に抑えることが出来る、という効果がある。

【0024】請求項6に記載の発明においては、複数個の開路電圧推定手段の演算周期をそれぞれ異なる時間に設定するので、温度により電池パラメータが大きく異なる場合に、それに応じた最適な演算周期の開路電圧推定手段が演算しているために、電池パラメータが変化した場合でも最適な推定（パラメータ同定）を行うことが出来る、という効果がある。

【0025】請求項7に記載の発明においては、複数個の開路電圧推定手段の中で最適な開路電圧推定手段が演算する最新の開路電圧推定値を、開路電圧推定値の初期値としているので、初期化時に電流が0であることに関係なく、適応フィルタの演算を初期化して再度開始できる、という効果がある。

【0026】請求項8に記載の発明においては、複数個の開路電圧推定手段の中で最適な開路電圧推定手段が演算する最新の内部抵抗推定値と、電流検出値と端子電圧検出値から、初期化時に開路電圧推定値の初期値を（数18）式で演算する。内部抵抗推定値は前回の演算値であるが、電流検出値と端子電圧検出値は初期化する時点の検出値なので、前回演算の開路電圧推定値よりも真値により近い値を初期値として用いることが出来る、という効果がある。

【0027】

【発明の実施の形態】（実施例1）図1は、本発明の実施例1を機能ブロックで表した図である。図1において、1は適応フィルタ演算手段であり、開路電圧 $V_0(k)$ をオフセット項とする電池モデルに基づいたものである。この適応フィルタ演算手段1はパラメータベクトル $\theta(k)$ の演算手段2、ゲイン行列 $P(k)$ の演算手段3、オフセット項変数 $r(k-1)$ の演算手段4からなる。また、5は開路電圧 $V_0(k)$ の演算手段、6は開路電圧から充電率を演算するSOC演算手段である。ま

$$V = \frac{C_1 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot s + (R_1 + R_2)}{C_1 \cdot R_1 \cdot s + 1} \cdot I + \frac{1}{C_1 \cdot R_1 \cdot s + 1} \cdot V_0 \quad \dots (数5)$$

上記（数5）式に零次ホールドを付加してZ変換することとで、線形離散時間システム（数6）式を得る。

$$V(k) = \frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1}}{1 + a_1 \cdot z^{-1}} \cdot I(k) + \frac{(1 + a_1) \cdot z^{-1}}{1 + a_1 \cdot z^{-1}} \cdot V_0(k) \quad \dots (数6)$$

ただし、 a_1 、 b_0 、 b_1 は定数、 z^{-1} は遅延演算子 $V(k)$ は現時点の端子電圧、 $V(k-n)$ は n サンプル周期前の端子電圧を示すものであり、以後、他の変数もこれに準ずる。

た、7は電池の電流を検出する電池電流 $I(k)$ 計測手段、8は電池の端子電圧を検出する電池電圧 $V(k)$ 計測手段である。

【0028】図2は、実施例1の具体的な構成を示すブロック図である。この実施例は、二次電池でモータ等の負荷を駆動したり、モータの回生電力で二次電池を充電するシステムに、二次電池の充電率推定装置を設けた例を示す。図2において、10は二次電池（単に電池とも言う）、20はモータ等の負荷、30は電池の充電状態を推定する電子制御ユニットで、プログラムを演算するCPUやプログラムを記憶したROMや演算結果を記憶するRAMから成るマイクロコンピュータと電子回路等で構成される。40は電池から充放電される電流を検出する電流計、50は電池の端子電圧を検出する電圧計、60は電池の温度を検出する温度計であり、それぞれ電子制御ユニット30に接続される。上記の電子制御ユニット30は前記図1の適応フィルタ演算手段1、開路電圧 $V_0(k)$ 演算手段5およびSOC演算手段6の部分に相当する。また、電流計40は電池電流 $I(k)$ 計測手段7に、電圧計50は電池電圧 $V(k)$ 計測手段8に、それぞれ相当する。

【0029】まず、本実施例で用いる「電池モデル」を説明する。図3は、二次電池の等価回路モデルを示す図であり、下記（数5）式で示される。（数5）式において、モデル入力電流 $I[A]$ （正值は充電、負値は放電）、モデル出力は端子電圧 $V[V]$ 、 $R_1[\Omega]$ は電荷移動抵抗、 $R_2[\Omega]$ は純抵抗、 $C_1[F]$ は電気二重層容量、 $V_0[V]$ は開路電圧である。なお、 s はラプラス演算子である。本モデルは、正極、負極を特に分離していないリダクションモデル（一次）であるが、実際の電池の充放電特性を比較的正確に示すことが可能である。

【0030】

【数5】

【0031】

【数6】

【0032】次に、「拡大最小二乗法」と呼ばれる公知の「適応デジタルフィルタ（逐次型同定アルゴリズム）」を一般形でまず説明する。線形離散時間システムで記述されるプラントモデルを（数7）式とする。

(6) 開2003-75518 (P2003-755JL)

【0033】

【数7】

$$y(k) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} \cdot u(k) + \frac{1}{A(z^{-1})} \cdot r(k) \quad \dots (数7)$$

$$y(k) = -\sum_{i=1}^n a_i \cdot y(k-i) + \sum_{j=0}^n b_j \cdot u(k-j) + r(k)$$

ただし、 $A(z^{-1})$ 、 $B(z^{-1})$ は z^{-1} の多項式
 n は $A(z^{-1})$ 、 $B(z^{-1})$ の次数
 $y(k)$ は出力、 $u(k)$ は入力、 $r(k)$ は式誤差(雑音)

上記の $r(k)$ は一般に白色雑音ではなく、通常の「最小二乗法」を用いると推定値に偏り(バイアス)が生じる(電池の場合、開路電圧が数7式の右辺第2項の定常値に相当)。この問題に対応する幾つかの改良手法の一つとして、「拡大最小二乗法」がある。この手法では、(数8)式のように式誤差を改めて定義する。

【0034】

【数8】

$$C(z^{-1}) \cdot r(k) = e(k) \quad \dots (数8)$$

ただし、 $e(k)$ は平均値零で分散 σ^2 の白色雑音
 $C(z^{-1})$ は z^{-1} の多項式

p は $C(z^{-1})$ の次数

上記の(数7)式、(数8)式を用いて下記(数9)式が求まる。

【0035】

【数9】

$$y(k) = -\sum_{i=1}^n a_i \cdot y(k-i) + \sum_{j=0}^n b_j \cdot u(k-j) - \sum_{i=1}^p c_i \cdot r(k-i) + e(k) \quad \dots (数9)$$

更に(数11)式の定義を用いて(数9)式を(数10)式に変形する。

【0036】

【数10】

$$y(k) = \omega^T \cdot \theta + e(k) \quad \dots (数10)$$

なお、(数10)式中の T は行列の配置を示す。

【0037】

【数11】

但し、

$$\theta^T = [-a^T, b^T, -c^T]$$

$$a^T = [a_1, \dots, a_n]$$

$$b^T = [b_0, b_1, \dots, b_n]$$

$$c^T = [c_1, \dots, c_p]$$

... (数11)

$$\omega^T(k) = [y^T(k), u^T(k), r^T(k)]$$

$$y^T(k) = [y(k-1), \dots, y(k-n)]$$

$$u^T(k) = [u(k), u(k-1), \dots, u(k-n)]$$

$$r^T(k) = [r(k-1), \dots, r(k-p)]$$

k 時点のパラメータ推定値を $\theta^*(k)$ とすると、逐次推定アルゴリズムは(数12)式に示すようになる。

【0038】

【数12】

(7) 開2003-75518 (P2003-755JL

$$\theta^*(k) = \theta^*(k-1) + P(k) \cdot \omega^*(k) [y(k) - \omega^{*T}(k) \cdot \theta^*(k-1)]$$

... (数12-1)

$$P(k) = P(k-1) - \frac{P(k-1) \cdot \omega^*(k) \cdot \omega^{*T}(k) \cdot P(k-1)}{1 + \omega^{*T}(k) \cdot P(k-1) \cdot \omega^*(k)}$$

... (数12-2)

$$r^*(k) = y(k) + y^T(k) \cdot a^*(k) - u^T(k) \cdot b^*(k)$$

... (数12-3)

ただし、

$$\theta^{*T} = [-a^{*T}, b^{*T}, -c^{*T}]$$

$$\omega^{*T} = [y^T(k), u^T(k), r^{*T}(k)]$$

次に、前記(数6)式の電池モデルに以上の適応フィルタアルゴリズムを適用する。(数10)式において下記(数13)式のように定義すると、(数6)式と(数9)式のモデルが一致するので前述の同定アルゴリズム

(数12)式を適用することができ、パラメータ $\theta(k)$ を推定することができる。

【0039】

【数13】

$$u(k) = I(k)$$

$$y(k) = V(k)$$

$$\theta^T = [-a_1, b_0, b_1, -c_1]$$

... (数13)

$$\omega^T(k) = [V(k-1), I(k), I(k-1), r(k-1)]$$

なお、 $r^*(k)$ の導出には下記(数14)式を用いる。

【0040】

【数14】

$$r^*(k) = \{y(k) + y^T(k) \cdot a^*(k) - u^T(k) \cdot b^*(k)\} / \{-c^*(k)\}$$

... (数14)

上記のように「適応フィルタ」で同定されたパラメータ $\theta^*(k)$ から下記(数15)式に示すように、電池の重要パラメータである開路電圧 V_0 、内部抵抗 $R_1 + R$

2. 時定数 $R_1 \cdot C_1$ が求まる。

【0041】

【数15】

$$\text{開路電圧: } V_0 = \frac{-c^{*}_1}{1 + a^{*}_1} r^*$$

$$\text{内部抵抗: } R_1 + R_s = \frac{b^{*}_0 + b^{*}_1}{1 + a^{*}_1}$$

$$\text{時定数: } R_1 \cdot C_1 = \frac{-T_0}{\ln(-a^{*}_1)}$$

... (数15)

図4は、電子制御ユニット30のマイクロコンピュータが行う処理のフローチャートである。図4のルーチンは一定周期 T_0 毎に実施される。なお、(k)は今回の値、(k-n)はnサンプル周期前(n周期前の演算)の値を意味する。

【0042】ステップS10では、電流 $I(k)$ 、端子

電圧 $V(k)$ 、温度 $T(k)$ を計測する。ステップS20では、SOC推定演算(同定アルゴリズム)を実行するか否かを判定する。電子制御ユニット30は、バッテリー遮断リレーの制御も行っており、リレー遮断時(電流 $I=0$)は推定を停止してステップS30へ進む。リレー締結時(オン状態時)は、推定演算を実行する。

(8) 開2003-75518 (P2003-755J)

【0043】ステップS30では、端子電圧 $V(k)$ を端子電圧初期値 V_{ini} として記憶する。ステップS40では、端子電圧差分値 $\Delta V(k) = V(k) - V_{ini}$ を演算する。これは、非ゼロの電圧値が「適応デジタルフィルタ」に初期値として入力されると誤った推定をする可能性があり、これを避けるためである。なお、電源リレー締結開始時から適応フィルタ演算を行うので、電流値 $I(k)$ はゼロを初期値として入力される。したがって、電流値 $I(k)$ は、必ずしも偏差を用いる必要性はない。

【0044】ステップS50では、ノイズ除去のために、電流 $I(k)$ および端子電圧差分値 $\Delta V(k)$ にローパスフィルタ演算を行う。ステップS60では、電池モデルである(数10)式、(数13)式における入力ベクトル $\omega(k)$ を設定する。ステップS70では、電池モデルにおけるオフセット項変数 $r(k-1)$ を(数14)式に基づいて算出する(図1のオフセット項変数演算手段4に相当)。

【0045】ステップS80では、ゲイン行列 $P(k)$ を(数12-2)式に基づいて演算する(図1のゲイン行列演算手段3に相当)。ステップS90では、電池モデルにおけるパラメータベクトル $\theta^*(k)$ を(数12-1)式に基づいて算出する(図1のパラメータベクトル演算手段2に相当)。ステップS100では、開路電圧 $V_0(k)$ を算出する(図1の開路電圧演算手段5に相当)。本実施例の場合、(数15)式で求まるのは、同定アルゴリズム開始時からの開路電圧の変化分 $\Delta V_0(k)$ であるから、下記(数16)式に示すように、開路電圧初期値 V_{0_ini} (=端子電圧初期値 V_{ini})を加算して開路電圧 $V_0(k)$ を算出する。

【0046】

【数16】

$$V_0(k) = \Delta V_0(k) + V_{0_ini} \quad \dots (数16)$$

ステップS110では、図5に示すような開路電圧 V_0 と充電率SOCの相関マップを用いて、上記で算出した $V_0(k)$ から充電率 $SOC(k)$ を算出する(図1のSOC演算手段6に相当)。なお、図5中の V_L は $SOC=0\%$ に、 V_H は $SOC=100\%$ に相当する開路電圧である。

【0047】(実施例2)図6は、実施例2の処理を示すフローチャートであり、前記図4のフローチャートにステップS120、S130の処理を追加し、電池の劣化度を算出するように構成したものである。ステップS120では、(数15)式に基づいて、電池内部抵抗 $R(k)$ 、または時定数 $T_d(k)$ を逐次推定する。そしてステップS130では、予め記憶しておいた電池特性マップ(図7)を用いて、電池劣化度を算出する。ただし、図7Aは電池内部抵抗に対応するマップ、図7Bは

時定数に対応するマップである。これらのマップは、電池温度 $T(k)$ に応じて、予め複数枚のマップが記憶されており、温度計60で計測した電池温度に応じて適合するマップが選択される。

【0048】図8は、実施例1および実施例2における各数値の推定シミュレーション結果の一例を示す図であり、比較的詳細な電池モデル(開路電圧 V_0 が充放電積算量、効率および図5の非線形特性で算出される)を用いたシミュレーション結果である。図8から判るように、実線で示した推定値は破線で示した真値に良く収束しており、充放電最中でも常に、正確な開路電圧 V_0 が推定できていることが確認できる。

【0049】(実施例3)これまで説明したように、実施例1、実施例2に記載の発明は、通電中の二次電池(鉛蓄電池やリチウムイオン電池等の充放電可能な電池)の端子電圧と電流に、適応デジタルフィルタを用いて開路電圧(通電遮断時の端子電圧、起電力)を推定(パラメータ同定)して、この値から電池のSOC(充電率)を推定する構成である。しかし、上記の構成では次のごとき問題が残る。すなわち、適応デジタルフィルタに用いている最小二乗法による逐次型モデルパラメータ同定手法は、電池モデルからの推定電圧と実電圧の偏差にゲインを乗じたものを、パラメータ推定値の前回値に加算して、逐次演算でパラメータ推定値を同定する手法である。そして、偏差に乘じるゲインが時間と共に減って行く「漸減ゲイン方式」を用いた演算方式という構成になっているため、パラメータ同定を開始してパラメータ推定値が真値に収束した後に、温度変化で電池パラメータが変化した場合、パラメータ同定を続けていても「漸減ゲイン方式」のためにゲインが小さくなって行くので、パラメータ推定値が電池パラメータの変化に追従できない。

【0050】また、適応デジタルフィルタに用いている最小二乗法による逐次型モデルパラメータ同定手法は、一定の演算周期で適応デジタルフィルタを演算するという構成になっているが、温度により電池パラメータは大きく変化し、それに応じた最適な演算周期があるので、一定の演算周期では電池パラメータが変化した場合には最適に同定できない。

【0051】以下、実施例3、実施例4として、実施例1をさらに改良して、上記のごとき問題を解決した構成を説明する。前記のように、演算で求めるパラメータ推定値が収束した後に、外的なパラメータ(例えば温度)が変化すると、その変化に追従出来ない。そのため、実施例3および実施例4においては、複数の開路電圧推定手段を備え、電池温度に応じて不適合な開路電圧推定手段を判断し、それを初期化する構成(実施例3)、または一定周期で各開路電圧推定手段を順に初期化する構成(実施例4)とし、開路電圧推定手段をリセットしながら、最も新しく求めた推定値を用いるように構成してい

(9) 開2003-75518 (P2003-755JL)

る。これにより新しい環境に適合したパラメータ推定値を用いることが出来る。なお、開路電圧推定手段が1個では、初期化してから新しい推定値が求まるまでの間（例えば10分程度の時間が必要）は充電率を求めることが出来ない。したがって最少でも2個の開路電圧推定手段を設ける必要がある。

【0052】実施例3においては、電池温度が変化した場合には、温度が変化する前に推定値が収束した開路電圧推定手段を初期化する。これにより常に温度に適合した推定値を求めることが出来る。また、演算周期は電池温度に応じて最適な演算周期があるので、温度に応じて演算周期を変えている。例えば25℃では1秒、0℃では0.5秒、-25℃では0.1秒程度であり、温度の高い方が最適な演算周期は長くなる傾向がある。

【0053】また、初期化する際の初期値としては、1演算前の最適推定値を用いる方法と、1演算前の内部抵抗Rの値を用い、VとIは今回の値を用いて $V = RI + V_0$ で求めた V_0 を用いる方法とがある。

【0054】図9は、実施例3を機能ブロックで表した図である。この実施例は、複数の開路電圧推定手段を備え、電池温度に応じて不適合な開路電圧推定手段を判断し、それを初期化するように構成したものである。図9において、11は開路電圧推定手段A、12は開路電圧推定手段Bであり、それぞれ前記図1の適応フィルタ演算手段1と開路電圧演算手段5の部分に相当する。13は開路電圧推定手段A11と開路電圧推定手段B12を初期化する初期化手段、14は開路電圧から充電率を演算するSOC演算手段、15は電池電流計測手段（図1の7に相当）、16は電池電圧計測手段（図1の8に相当）、17は電池温度検出手段（図2の温度計60に相当）である。なお、具体的な構成を示すブロック図は前記図2と同様である。

【0055】図11は、図9の開路電圧推定手段A11に相当する演算処理を示すフローチャート、図12は、図9の開路電圧推定手段B12に相当する演算処理を示すフローチャート、図13は、図9の初期化手段13に相当する演算処理を示すフローチャートである。

【0056】まず、図11において、このルーチンは一定周期 T_A 毎に実施される。周期 T_A は、或る温度（例えば25℃）に最適な演算周期である。また、前記（数12-1）式、（数12-2）式、（数13）式、（数14）式、（数15）式の演算で使用する全ての変数と定数は、周期 T_A 毎のルーチンで使用されるものであ

$$(\text{開路電圧推定値の初期値}) = (\text{端子電圧検出値}) - (\text{内部抵抗推定値}) \times (\text{電流検出値}) \quad \dots (\text{数18})$$

なお、開路電圧初期値として、最新の開路電圧推定値の最適値 $V_0(k-1)$ を用いる方法もある。

$$V_{0_A_ini} = V_0(k-1)$$

前記のように、最適な開路電圧推定手段が演算する最新の開路電圧推定値を初期値とした場合には、その値は初

り、図12の周期 T_B 毎のルーチンで使用されるものとは異なる。なお、 (k) は今回の値、 $(k-q)$ は q 回前の値を意味する。また、初期化要求フラグ $FINI_A$ の初期状態は1である。

【0057】まず、ステップSA10では、電流検出手段15で検出した電流 $I_A(k)$ と、端子電圧検出手段16で検出した端子電圧 $V_A(k)$ とを読み込む。ステップSA20では、初期化要求フラグに基づいて初期化を判断する。初期化要求フラグ $FINI_A=1$ （初期化：要）の場合はステップSA30へ進む。 $FINI_A=0$ （初期化：不要）の場合はステップSA40へ進む。ステップSA30では、初期化処理を行う。すなわち、初期値を例えば下記（数17）式に設定して適応デジタルフィルタ（同定アルゴリズムとも言う）の初期化を行い、演算開始時点における電流初期値 I_A_ini と、端子電圧初期値 V_A_ini と、開路電圧初期値 $V_{0_A_ini}$ を算出し、ステップSA40へ進む。

【0058】

【数17】

$$P_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot 1.0e^{-4} \quad \dots (\text{数17})$$

$$\theta_0^T = [1 \ 1 \ 1 \ 1] \cdot 1.0e^{-4}$$

上記の演算開始時点における電流初期値 I_A_ini と、端子電圧初期値 V_A_ini と、開路電圧初期値 $V_{0_A_ini}$ は下記ようになる。

$$I_A_ini = I_A(k)$$

$$V_A_ini = V_A(k)$$

$$V_{0_A_ini} = V_A(k) - NAIBU(k-1) \times I_A(k)$$

$$FINI_A = 0$$

$$FSHU_A = 0 \quad (\text{FSHU_Aは収束フラグ})$$

ただし、 $NAIBU(k-1)$ は、最新の内部抵抗最適値である。演算開始時が電流 $I_A=0$ であれば、開路電圧初期値は端子電圧初期値に等しい。また、収束フラグをクリアする。ここでは、複数の開路電圧推定手段の中で最適な開路電圧推定手段が演算する最新の内部抵抗推定値と、電流検出値と端子電圧検出値から、初期化時に開路電圧推定値の初期値を下記の（数18）式で演算する。

初期化する時点よりも以前の推定値であるので、開路電圧の真値から多少ずれている可能性がある。したがって、上記（数18）式のように構成すれば、内部抵抗推定値は前回値であるが、電流検出値と端子電圧検出値は初期化する時点の検出値なので、開路電圧の真値により近い

(10) 2003-75518 (P2003-755JL)

初期値を用いることが出来る。

【0059】ステップSA40では、下記のように、その時の電流、電圧値から初期値を減算して電流差分値 $\Delta I_A(k)$ と端子電圧差分値 $\Delta V_A(k)$ を算出する。

$$\Delta I_A(k) = I_A(k) - I_{A_ini}$$

$$\Delta V_A(k) = V_A(k) - V_{A_ini}$$

ステップSA42では、開路電圧推定手段A11の推定値が収束したか否かを、電流差分値 $\Delta I_A(k)$ で判定する。つまり、電流差分値が充分大きな所定値（例えば5A）であれば、推定値は収束していると判断（YES）出来る。したがって、 $\Delta I_A(k) \geq \text{所定値}$ の場合は収束したものと判断してステップSA44へ進む、その他の場合（NO）はステップSA50へ進む。なお、収束判定を確実にするために、電流差分値が充分大きな所定値を、所定時間経過した場合に収束したと判断するように構成してもよい。ステップSA44では、開路電圧推定手段A11の推定値が収束したとして、収束フラグFSHU_A=1とする（収束処理）。

【0060】ステップSA50では、電流差分値 $\Delta I_A(k)$ と端子電圧差分値 $\Delta V_A(k)$ に、ノイズ除去のために適切なローパスフィルタ処理をし、処理後に改めて電流差分値 $\Delta I_A(k)$ と端子電圧差分値 $\Delta V_A(k)$ とする。ステップSA60では、適応デジタルフィルタに、 $\Delta I_A(k)$ および $\Delta V_A(k)$ を入力して、前記（数13）式を演算する。なお、電流差分値と端子電圧差分値を入力するのは、適応デジタルフィルタ内の推定パラメータの初期値を約0としているので、推定演算開始時に推定パラメータが発散しないように、入力を全て0とするためである。

$$u(k) = \Delta I_A(k), \quad y_A(k) = \Delta V_A(k)$$

$$\theta^T(k) = \{-a_1(k), b_0(k), b_1(k), -c_1(k)\}$$

$$\omega^T(k) = \{y(k-1), u(k), u(k-1), r(k-1)\}$$

なお、 $r(k-1)$ は（数14）式で算出する。

【0061】ステップSA70では、（数12-1）式、（数12-2）式、（数14）式を演算する。ステップSA80では、（数15）式を演算し、下記のように、 $\Delta V_{0_A}(k)$ 、 $R_1 + R_2$ 、 $R_1 \cdot C_1$ 、 $\Delta V_A(k)$ を求める。ただし、 $\Delta V_{0_A}(k)$ は推定演算開始時からの開路電圧推定値の変化分、 $\Delta V_A(k)$ は推定演算開始時からの端子電圧推定値の変化分である。

$$\Delta V_{0_A}(k) = -c_1(k) \cdot r(k-1) / \{1 + a_1(k)\}$$

$$R_1 + R_2 = NAIBU_A(k) = \{b_0(k) + b_1(k)\} / \{1 + a_1(k)\}$$

$$R_1 \cdot C_1 = JITEI_A(k) = -T_0 / \ln\{-a_1(k)\}$$

$$\Delta V_A(k) = -a_1(k-1) \cdot y(k-1) + b_0(k-1) \cdot u(k) + b_1(k-1) \cdot u(k-1) - c_1(k-1) \cdot r(k-1)$$

$$1) \cdot r(k-1)$$

ステップSA90では、下記のように、開路電圧推定値 $V_{0_A}(k)$ と端子電圧推定値 $V_A(k)$ を算出する。つまり、ステップSA80で算出した $\Delta V_{0_A}(k)$ は同定アルゴリズム開始時からの開路電圧の変化分であるから、それに開路電圧初期値 $V_{0_A_ini}$ を加算して開路電圧推定値 $V_{0_A}(k)$ を算出する。また、 $\Delta V_A(k)$ は同定アルゴリズム開始時からの端子電圧の変化分であるから、それに端子電圧初期値 V_{A_ini} を加算して端子電圧推定値 $V_A(k)$ を算出する。

$$V_{0_A}(k) = \Delta V_{0_A}(k) + V_{0_A_ini}$$

$$V_A(k) = \Delta V_A(k) + V_{A_ini}$$

ステップSA100では、次の演算に必要な数値を保存して、開路電圧推定手段A11の今回演算を終了する。

【0062】図12は、開路電圧推定手段B12のフローチャートであり、このルーチンは一定周期 T_B 毎に実施される。周期 T_B は、或る温度（例えば0℃）に最適な演算周期である。また、前記（数12-1）式、（数12-2）式、（数13）式、（数14）式、（数15）式の演算で使用する全ての変数と定数は、周期 T_B 毎のルーチンで使用するものであり、図11の周期 T_A 毎のルーチンで使用するものとは異なる。また、初期化要求フラグFINI_Bの初期状態は1である。

【0063】ステップSB10では、電流検出手段15で検出した電流 $I_B(k)$ と、端子電圧検出手段16で検出した端子電圧 $V_B(k)$ とを読み込む。ステップSB20では、初期化要求フラグに基づいて初期化を判断する。つまり、初期化要求フラグFINI_B=1

（要）の場合はステップSB30へ進む。FINI_B=0（不要）の場合はステップSB40へ進む。ステップSB30では、初期化処理を行う。すなわち、初期値を例えば前記（数17）式に設定して適応デジタルフィル（同定アルゴリズムとも言う）の初期化を行い、演算開始時点における電流初期値 I_{B_ini} と、端子電圧初期値 V_{B_ini} と、開路電圧初期値 $V_{0_B_ini}$ を算出し、ステップSB40へ進む。

【0064】上記の演算開始時点における電流初期値 I_{B_ini} と、端子電圧初期値 V_{B_ini} と、開路電圧初期値 $V_{0_B_ini}$ は下記ようになる。ただし、NAIBU(k-1)は最新の内部抵抗最適値である。演算開始時が電流 $I_B=0$ であれば、開路電圧初期値は端子電圧初期値に等しい。また、収束フラグをクリアする。

$$I_{B_ini} = I_B(k)$$

$$V_{B_ini} = V_B(k)$$

$$V_{0_B_ini} = V_B(k) - NAIBU(k-1) \times I_B(k)$$

$$FINI_B = 0$$

$$FSHU_B = 0$$

(11) 2003-75518 (P2003-755JL)

ここでは、複数個の開路電圧推定手段の中で最適な開路電圧推定手段が演算する最新の内部抵抗推定値と、電流検出値と端子電圧検出値から、初期化時に開路電圧推定値の初期値を前記(数18)式で演算する。

【0065】なお、開路電圧初期値として、下記のように、最新の開路電圧推定値の最適値 $V_0(k-1)$ とする方法もある。

$$V_{0_B_ini} = V_0(k-1)$$

ステップSB40では、下記のように、電流差分値 $\Delta I_B(k)$ と端子電圧差分値 $\Delta V_B(k)$ を算出する。

$$\Delta I_B(k) = I_B(k) - I_{B_ini}$$

$$\Delta V_B(k) = V_B(k) - V_{B_ini}$$

ステップSB42では、開路電圧推定手段B12の推定値が収束したか否かを、電流差分値 $\Delta I_B(k)$ で判定する。つまり、電流差分値が充分大きな所定値(例えば5A)であれば、推定値は収束していると判断出来る。したがって、 $\Delta I_B(k) \geq \text{所定値}$ の場合は、収束したと判断(YES)してステップSB44へ進み、その他の場合(NO)はステップSB50へ進む。なお、収束判定を確実にするために、電流差分値が充分大きな所定値を、所定時間経過した場合に収束したと判断するように構成してもよい。

【0066】ステップSB44では、開路電圧推定手段B12の推定値が収束したとして、収束フラグFSHU_B=1とする。ステップSB50では、電流差分値 $\Delta I_B(k)$ と端子電圧差分値 $\Delta V_B(k)$ に、ノイズ除去のために適切なローパスフィルタ処理をし、処理後に改めて電流差分値 $\Delta I_B(k)$ と端子電圧差分値 $\Delta V_B(k)$ とする。

【0067】ステップSB60では、適応デジタルフィルタに、 $\Delta I_B(k)$ および $\Delta V_B(k)$ を入力して、(数13)式を演算する。電流差分値と端子電圧差分値を入力するのは、適応デジタルフィルタ内の推定パラメータの初期値を約0としているので、推定演算開始時に推定パラメータが発散しないように、入力を全て0とするためである。

$$u(k) = \Delta I_B(k), \quad y_B(k) = \Delta V_B(k)$$

$$\theta^T(k) = (-a_1(k), b_0(k), b_1(k), -c_1(k))$$

$$\omega^T(k) = \{y(k-1), u(k), u(k-1), r(k-1)\}$$

$r(k-1)$ は(数14)式から算出する。

【0068】ステップSB70では、(数12-1)式、(数12-2)式、(数14)式を行う。ステップSB80では、(数15)式を行う。ただし、 $\Delta V_{0_B}(k)$ は推定演算開始時からの開路電圧推定値の変化分であり、 $\Delta V_B(k)$ は推定演算開始時からの端子電圧推定値の変化分である。

$$\Delta V_{0_B}(k) = -c_1(k) \cdot r(k-1) / \{1 + a_1(k)\}$$

$$R_1 + R_2 = NAIBU_B(k) = \{b_0(k) + b_1(k)\} / \{1 + a_1(k)\}$$

$$R_1 \cdot C_1 = JITE_B(k) = -T_0 / \ln\{-a_1(k)\}$$

$$\Delta V_B(k) = -a_1(k-1) \cdot y(k-1) + b_0(k-1) \cdot u(k) + b_1(k-1) \cdot u(k-1) - c_1(k-1) \cdot r(k-1)$$

ステップSB90では、下記のように、開路電圧推定値 $V_{0_B}(k)$ と端子電圧推定値 $V_B(k)$ を算出する。

つまり、ステップSB80で算出した $\Delta V_{0_B}(k)$ は同定アルゴリズム開始時からの開路電圧の変化分であるから、それに開路電圧初期値 $V_{0_B_ini}$ を加算して開路電圧推定値 $V_{0_B}(k)$ を算出する。また、 $\Delta V_B(k)$ は同定アルゴリズム開始時からの端子電圧の変化分であるから、それに端子電圧初期値 V_{B_ini} を加算して端子電圧推定値 $V_B(k)$ を算出する。

$$V_{0_B}(k) = \Delta V_{0_B}(k) + V_{0_B_ini}$$

$$V_B(k) = \Delta V_B(k) + V_{B_ini}$$

ステップSB100では、次の演算に必要な数値を保存して、開路電圧推定手段B12の今回の演算を終了する。

【0069】図13は、前記図9の初期化手段13に相当する演算処理を示すフローチャートであり、開路電圧推定手段A11と開路電圧推定手段B12との何れの推定手段を選択するかを決定する。このルーチンは一定周期 T_c 毎に実施される。周期 T_c は、前記の周期 T_A と周期 T_B より小さい値である。なお、図13においては、開路電圧推定手段A11を推定器A、開路電圧推定手段B12を推定器Bと表示している。

【0070】ステップSC10では、図10の電池温度検出手段17で検出した電池温度 $T(k)$ を読み込む。この際、ノイズ除去のためにフィルタ処理をしてもよい。ステップSC20では、初期化の必要性を判定する。この判定は前回の初期化からの時間CNTINI(k)に基づいて行う。つまりCNTINI(k) \geq 所定値(例えば10分)の場合は、初期化が必要と判断してステップSC30へ進む。その他の場合はC25へ進む。ただし、初期値CNTINI(k) = 0である。

【0071】ステップSC25では、前回初期化からの時間を計数する。

$$CNTINI(k) = CNTINI(k-1) + 1$$

ステップSC30では、電池温度 $T(k)$ に基づいて、開路電圧推定手段A11と開路電圧推定手段B12とのうちで、その時の温度に適合していない推定手段を判定する。つまり開路電圧推定手段の演算周期は所定の温度に適合するように設定されているので、二つの開路電圧推定手段の設定温度のうちで、その時の温度との差が大きい方の手段を不適合と判断する。例えば、開路電圧推定手段A11の設定温度が25℃で、開路電圧推定手段B12の設定温度が0℃であった場合に、 $T(k) \geq \text{所$

(12) 2003-75518 (P2003-755JL)

定値(例えば15℃)の場合は、開路電圧推定手段A11の方が適合しているため、より適合していない方の開路電圧推定手段B12を初期化するためステップSC40へ進む。その他の場合、開路電圧推定手段B12が適合しているため、ステップSC50へ進む。

【0072】ステップSC40では、開路電圧推定手段A11が適合している場合なので、開路電圧推定手段B12を初期化するために、初期化フラグを1とする。ただし、実際の初期化処理を行うのは前記図12のステップSB30である。また、ここで初期化されるので、前回の初期化からの時間CNTINI(k)と収束フラグFSHU_Bをクリアする。

FINI_B=1、FSHU_B=0、CNTINI(k)=0

ステップSC50では、開路電圧推定手段B12が適合している場合なので、開路電圧推定手段A11を初期化するために、初期化フラグを1とする。ただし、実際に初期化処理を行うのは前記図11のステップSA30である。また、ここで初期化されるので、前回の初期化からの時間CNTINI(k)と収束フラグFSHU_Aをクリアする。

FINI_A=1、FSHU_A=0、CNTINI(k)=0

ステップSC60では、初期化された方の開路電圧推定手段の推定値が収束したか否かを判定する(YES:収束した場合、NO:未収束の場合)。二つの開路電圧推定手段のどちらかが初期化された場合、初期化された開路電圧推定手段の推定値が収束しているのは、FSHU_A=1で、かつFSHU_B=1の場合だけであるので、ステップSC80へ進む。その他の場合は、初期化された方の開路電圧推定手段の推定値が収束していないので、ステップSC70へ進む。なお、電源投入時の初回は開路電圧推定手段A11、B12共に初期化しているので、上記条件は初回も含む。

【0073】ステップSC70では、初期化された方の開路電圧推定手段の推定値が未だ収束していないので、前回選択した開路電圧推定手段の推定値として、開路電圧最適値 $V_0(k)$ と内部抵抗最適値NAIBU(k)を選択する。

【0074】FSHU_A=1で、かつFSHU_B=0の場合は、開路電圧推定手段A11を選択する。

$V_0(k)=V_{0_A}(k)$

NAIBU(k)=NAIBU_A(k)

FSHU_A=0で、かつFSHU_B=1の場合は、開路電圧推定手段B12を選択する。

$V_0(k)=V_{0_B}(k)$

NAIBU(k)=NAIBU_B(k)

FSHU_A=0で、かつFSHU_B=0の場合は、電源投入時の初回の演算から両方の開路電圧推定手段が未だ収束していない間で、両者の開路電圧推定手段から推

定値が得られていない。そのため、初回の演算では両方の開路電圧推定手段の開路電圧は共に等しく、殆ど動いていないことを考慮して、開路電圧推定手段A11を選択する。内部抵抗の方は、初期値から殆ど動いていない。

$V_0(k)=V_{0_A}(k)$

NAIBU(k)=NAIBU_A(k)

ステップSC80では、初期化された方の開路電圧推定手段の推定値が収束しているため、電池温度T(k)に適合している開路電圧推定手段を判定する。T(k)≧所定値(例えば15℃)の場合は、開路電圧推定手段A11が適合しているためステップSC90へ進む。その他の場合、開路電圧推定手段B12が適合しているためステップSC100へ進む。

【0075】ステップSC90では、開路電圧推定手段A11を選択し、その開路電圧推定値を用いる。

$V_0(k)=V_{0_A}(k)$

NAIBU(k)=NAIBU_A(k)

ステップSC100では、開路電圧推定手段B12を選択し、その開路電圧推定値を用いる。

$V_0(k)=V_{0_B}(k)$

NAIBU(k)=NAIBU_B(k)

ステップSC110では、前記図5に示した開路電圧と充電率の相関マップを用いて、ステップSC70、ステップSC90またはステップSC100で選択した $V_0(k)$ から充電率SOC(k)を算出する。なお、図5中の V_L はSOC=0%に、 V_H はSOC=100%に相当する開路電圧である。以上で、初期化手段13のルーチンを終了する。

【0076】なお、上記の実施例では、それぞれ別の温度に適した二つの開路電圧推定手段A11およびB12を用いる例を説明したが、さらに多くの温度に適した複数の開路電圧推定手段を動作させ、ステップSC30またはステップSC80で木目細かく最適な開路電圧推定手段を選択するように構成してもよい。

【0077】(実施例4)また、図10は、実施例4を機能ブロックで表した図であり、図9から電池温度検出手段17を除いたものである。この実施例は、複数の開路電圧推定手段を有し、それぞれの開路電圧推定手段を定周期で順に初期化するように構成したものである。この実施例では、複数の適応フィルタ(開路電圧推定手段)を一定周期で順に初期化し、最新の適応フィルタの推定値を選択する。そのため、少なくとも1つの適応フィルタは初期化されているので、パラメータ固定が止まることは無く、電池パラメータが変化した場合でも継続してパラメータを推定することができる。なお、具体的な構成を示すブロック図は前記図2と同様である。

【0078】図14は、初期化手段13に相当する他の演算処理(実施例4)を示すフローチャートである。このルーチンは一定周期 T_D 毎に実施される。周期T

(13) 2003-75518 (P2003-755JL)

α は、周期 T_A と周期 T_B より小さい値である。また、ここでは、周期 $T_A = T_B$ である。なお、図13においては、開路電圧推定手段A11を推定器A、開路電圧推定手段B12を推定器Bと表示している。

【0079】ステップSD10では、前回の初期化からの時間 $CNTINI(k)$ に基づいて初期化の必要性を判定する。つまり $CNTINI(k) \geq$ 所定値（例えば10分）の場合は、初期化が必要と判断してステップSD30へ進む。その他の場合はステップSD20へ進む。ただし、初期値 $CNTINI(0) = 0$ である。

【0080】ステップSD20では、前回の初期化からの時間を計数する。

$CNTINI(k) = CNTINI(k-1) + 1$

ステップSD30では、初期化する開路電圧推定手段を順番フラグ $FJUN$ で判定する。 $FJUN = 0$ の場合は開路電圧推定手段B12を初期化する順番なので、ステップSD40へ進む。 $FJUN = 1$ の場合は開路電圧推定手段A11を初期化する順番なので、ステップSD50へ進む。ただし、初期値 $FJUN = 0$ とする。このフローにおいては、二つ（或いはそれ以上の複数）の開路電圧推定手段を順番に初期化する。

【0081】ステップSD40では、開路電圧推定手段B12を初期化するためにBの初期化フラグを1とするが、実際に初期化処理を行うのは前記図12のステップSB30である。また、ここで初期化されるので前回の初期化からの時間 $CNTINI(k)$ と収束フラグ $FSHU_B$ をクリアする。そして、順番フラグ $FJUN$ を反転させる。

$FINI_B = 1, FSHU_B = 0$

$CNTINI(k) = 0, FJUN = 1$

ステップSD50では、開路電圧推定手段A11を初期化するためにAの初期化フラグを1とするが、実際に初期化処理を行うのは、前記図11のステップSA30である。また、ここで初期化されるので前回の初期化からの時間 $CNTINI(k)$ と収束フラグ $FSHU_A$ をクリアする。そして順番フラグ $FJUN$ を反転させる。

$FINI_A = 1, FSHU_A = 0$

$CNTINI(k) = 0, FJUN = 0$

ステップSD60では、初期化された開路電圧推定手段の推定値が収束したか否かを判定する。開路電圧推定手段のどちらかが初期化された場合、初期化された開路電圧推定手段の推定値が収束しているのは、 $FSHU_A = 1$ で、かつ $FSHU_B = 1$

の時だけなので、ステップSD80へ進む。その他の場合は、初期化された開路電圧推定手段の推定値が収束していないので、ステップSD70へ進む。なお、電源投入時の初回の演算では、開路電圧推定手段A11、開路電圧推定手段B12が共に初期化しているので、上記条件は初回をも含む。

【0082】ステップSD70では、初期化された開路

電圧推定手段の推定値が収束していないので、前回選択した開路電圧推定手段の推定値として、開路電圧最適値 $V_0(k)$ と内部抵抗最適値 $NAIBU(k)$ を選択する。すなわち、 $FSHU_A = 1$ で、かつ $FSHU_B = 0$ の場合には、開路電圧推定手段A11を選択する。

$V_0(k) = V_{0_A}(k)$

$NAIBU(k) = NAIBU_A(k)$

$FSHU_A = 0$ で、かつ $FSHU_B = 1$ の場合には、開路電圧推定手段B12を選択する。

$V_0(k) = V_{0_B}(k)$

$NAIBU(k) = NAIBU_B(k)$

$FSHU_A = 0$ かつ $FSHU_B = 0$ の場合は、電源投入時の初回から両方の開路電圧推定手段が未だ収束していない間なので、両者の開路電圧推定手段から推定値が得られていない。そのため、初回の演算では両方の開路電圧推定手段の開路電圧は共に等しく、殆ど動いていないことを考慮して、開路電圧推定手段A11を選択する。内部抵抗の方は、初期値から殆ど動いていない。

$V_0(k) = V_{0_A}(k)$

$NAIBU(k) = NAIBU_A(k)$

ステップSD80では、初期化された開路電圧推定手段の推定値が収束しているので、最新の開路電圧推定手段を判定する。 $FJUN = 0$ の場合は、開路電圧推定手段A11が初期化された場合なので、ステップSD90へ進む。 $FJUN = 1$ の場合は、開路電圧推定手段B12が初期化された場合なので、ステップSD100へ進む。

【0083】ステップSD90では、開路電圧推定手段A11を選択する。

$V_0(k) = V_{0_A}(k)$

$NAIBU(k) = NAIBU_A(k)$

ステップSD100では、開路電圧推定手段B12を選択する。

$V_0(k) = V_{0_B}(k)$

$NAIBU(k) = NAIBU_B(k)$

ステップSD110では、前記図5に示した開路電圧と充電率の相関マップを用いて、ステップSD70、ステップSD90またはステップSD100で選択した $V_0(k)$ から充電率 $SOC(k)$ を算出する。なお、図5中の V_L は $SOC = 0\%$ に、 V_H は $SOC = 100\%$ に相当する開路電圧である。

【0084】以下、実施例3と実施例4の作用、効果を説明するが、まず、実施例4の作用、効果を説明する。

【0085】図15は、比較のために示した実施例1におけるパラメータ同定結果を示す図、図16は実施例4におけるパラメータ同定結果を示す図である。これらの図は、電池モデルに 0°C と 25°C のパラメータを真値として与えて、シミュレーション途中で電池モデルのパラメータを 0°C から 25°C に切り替えた場合のパラメータ同定結果である。なお、図15～図18において、真値

(14) 2003-75518 (P2003-75518)

は破線、推定値は実線で示している。

【0086】図15に示した実施例1では、0℃でのパラメータ同定は成功して内部抵抗推定値は0℃の真値に収束し、開路電圧推定値も電池モデルから算出した真値と一致する。しかし、電池モデルのパラメータを0℃から25℃に切り替えた場合(図15の①)には、パラメータ同定が進まず内部抵抗推定値は0℃から25℃の真値に変化しない(図15の②)。そのため25℃では開路電圧推定値は真値と全く一致しない。これは、時間=0で開始した適応フィルタのゲイン行列が小さくなり、パラメータ同定が止まったためである。

【0087】それに対して実施例4では、図16に示すように、0℃でのパラメータ同定は成功して内部抵抗推定値は0℃の真値に収束し、開路電圧推定値も電池モデルから算出する真値と一致する。更に、電池モデルのパラメータを0℃から25℃に切り替えた場合(図16の①)でも、開路電圧推定手段(適応フィルタ)を一定周期で順に初期化するため、初期化された最新の適応フィルタでパラメータ同定が進み、内部抵抗推定値は0℃から25℃の真値に変化する(図16の②)。そのため25℃では開路電圧推定値も真値と一致する。

【0088】次に、実施例3の作用効果について説明する。実施例3においては、電池温度に基づいて不適切な開路電圧推定手段を判断し、それを初期化するので、温度変化で電池パラメータが変化した場合でも、パラメータ推定値が電池パラメータの変化に追従できないという問題を解決できる。

【0089】図17は実施例3におけるパラメータ同定結果を示す図であり、電池モデルに0℃と25℃のパラメータを真値として与えて、シミュレーション途中で電池モデルのパラメータを0℃から25℃に切り替えた場合のパラメータ同定結果である。

【0090】前記実施例4では、適応フィルタを一定周期で順に初期化するので、図16の③や④などのように、パラメータが変化していない場合でも初期化している。しかし、初期化の前後で適応フィルタの推定値を切り替える際には、若干のハンチングを生じる可能性がある。初期化は必要最小回数が見え、実施例3においては、温度が0℃から25℃に変化して不適切になった開路電圧推定手段のみを初期化(図17の①)するので、初期化を必要最小回数に抑えることが出来る。この場合には、当然、初期化された方の適応フィルタでパラメータ同定が進み、内部抵抗推定値は0℃から25℃の真値に変化する(図17の②)。そのため25℃では開路電圧推定値も真値とほぼ一致する。

【0091】また、複数の開路電圧推定手段の演算周期を異なる時間に設定した場合(周期 $T_A \neq$ 周期 T_B)には、温度により電池パラメータが大きく異なる場合に、それに応じた最適な演算周期で開路電圧推定手段を演算することができるので、電池パラメータが変化した

場合にも最適に同定できないという問題を解決できる。図18は周期 T_A は25℃に適合し、周期 T_B は0℃に適合する値に設定し、0℃と25℃のパラメータを真値として与えて、シミュレーション途中で電池モデルのパラメータを0℃から25℃に切り替えた場合のパラメータ同定結果を示す図である。図17に示した例では、複数の適応フィルタの演算周期が同一なので、0℃で最適な演算周期に設定した場合、25℃でのパラメータ同定には最適でないために開路電圧推定値の収束が遅れる(図17の③)。それに対して図18の例では、0℃で最適な演算周期に設定した開路電圧推定手段でのパラメータ同定は成功して、内部抵抗推定値は0℃の真値に収束し、開路電圧推定値も電池モデルから算出する真値と一致する。さらに、電池モデルのパラメータを0℃から25℃に切り替えた場合(図18の①)、25℃で最適な演算周期に設定されている開路電圧推定手段を初期化するので、初期化された方の開路電圧推定手段はパラメータ同定が進み、内部抵抗推定値は0℃から25℃の真値に速やかに変化する(図18の②)。そのため25℃では開路電圧推定値も真値と速やかに一致する(図18の③)。

【0092】また、適応フィルタを初期化して再度開始する際には、開路電圧推定値の初期値が必要である。電流=0の時は

端子電圧=開路電圧推定値の初期値

であるから初期化して再度開始できるが、電流 \neq 0時は

端子電圧 \neq 開路電圧推定値の初期値

なので初期化して再度開始することができない。そのため複数の開路電圧推定手段の中で最適な開路電圧推定手段が演算する最新の開路電圧推定値を、開路電圧推定値の初期値として用いる。このようにすれば、初期化時に電流が0であるか否かに関係なく、適応フィルタの演算を初期化して再度開始することができる。

【0093】上記のように、最適な開路電圧推定手段が演算する最新の開路電圧推定値を初期値とした場合には、適応フィルタの演算を初期化して再度開始することができるが、その値は初期化する時点よりも以前の推定値であるので、開路電圧の真値から多少ずれている可能性がある。したがって、複数の開路電圧推定手段の中で最適な開路電圧推定手段が演算する最新の内部抵抗推定値と、初期化時点における電流検出値と端子電圧検出値から、初期化時に開路電圧推定値の初期値を前記(数18)式で演算する。上記のように構成すれば、内部抵抗推定値は前回値であるが、電流検出値と端子電圧検出値は初期化する時点の検出値なので、開路電圧の真値により近い初期値を用いることが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の基本構成を機能ブロックで表した図。

【図2】本発明の具体的構成を示すブロック図。

(15) 2003-75518 (P2003-755JL)

【図3】二次電池の等価回路モデルを示す図。

【図4】電子制御ユニット30のマイクロコンピュータが行う処理のフローチャート。

【図5】開路電圧 V_0 と充電率SOCの相関マップ。

【図6】実施例2の処理を示すフローチャート。

【図7】電池特性マップを示す図であり、Aは電池内部抵抗に対応するマップ、Bは時定数に対応するマップ。

【図8】実施例1および実施例2における各数値の推定シミュレーション結果の一例を示す図。

【図9】実施例3を機能ブロックで表した図。

【図10】実施例4を機能ブロックで表した図。

【図11】開路電圧推定手段A11に相当する演算処理を示すフローチャート。

【図12】開路電圧推定手段B12に相当する演算処理を示すフローチャート。

【図13】初期化手段13に相当する演算処理を示すフローチャート。

【図14】初期化手段13に相当する他の演算処理を示すフローチャート。

【図15】実施例1におけるパラメータ同定結果を示す図。

【図16】実施例4におけるパラメータ同定結果を示す図。

【図17】実施例3におけるパラメータ同定結果を示す図。

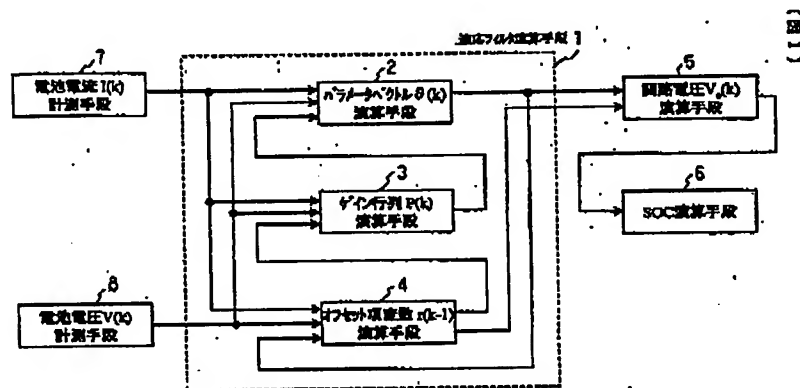
図。

【図18】実施例3において、温度に応じてそれぞれ異なった演算周期を用いる場合のパラメータ同定結果を示す図。

【符号の説明】

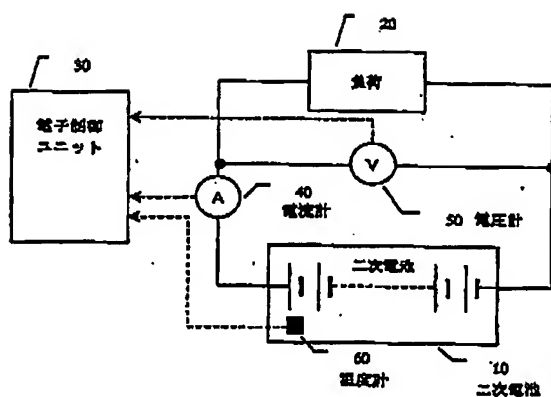
- | | |
|----------------------|------------------------------|
| 1…適応フィルタ演算手段 | 2…パラメータベクトル $\theta(k)$ 演算手段 |
| 3…ゲイン行列 $P(k)$ 演算手段 | 4…オフセット項変数 $r(k-1)$ 演算手段 |
| 5…開路電圧 $V_0(k)$ 演算手段 | 6…SOC演算手段 |
| 7…電池電流 $I(k)$ 計測手段 | 8…電池電圧 $V(k)$ 計測手段 |
| 10…二次電池 | 11…開路電圧推定手段A |
| 12…開路電圧推定手段B | 13…初期化手段 |
| 14…SOC演算手段 | 15…電池電流計測手段 |
| 16…電池電圧計測手段 | 17…電池温度検出手段 |
| 20…モータ等の負荷 | 30…電子制御ユニット |
| 40…電流計 | 50…電圧計 |
| 60…温度計 | |

【図1】



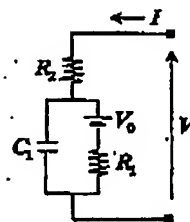
(16) 2003-75518 (P2003-755JL)

【図2】

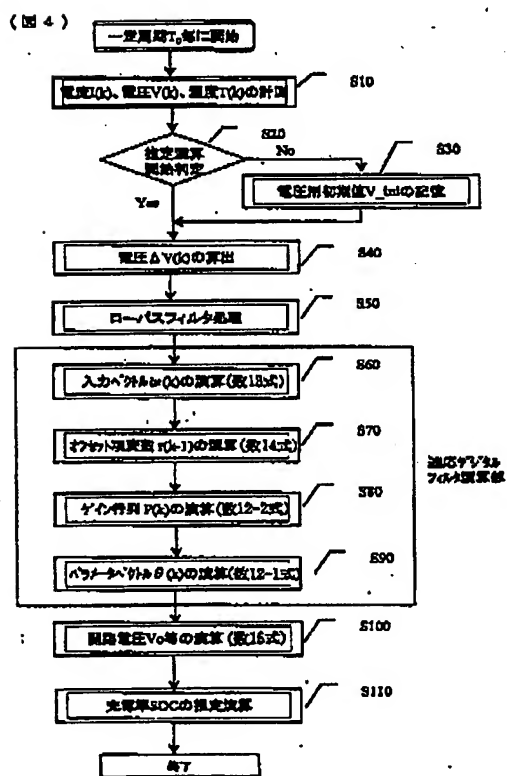


【図3】

(図3)

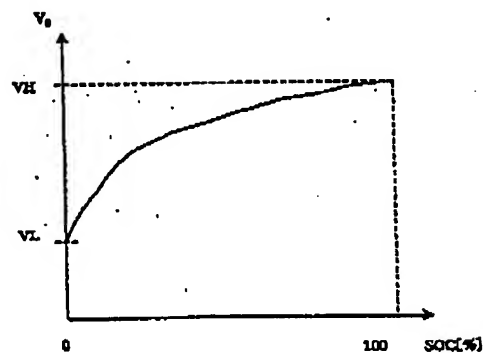


【図4】



【図5】

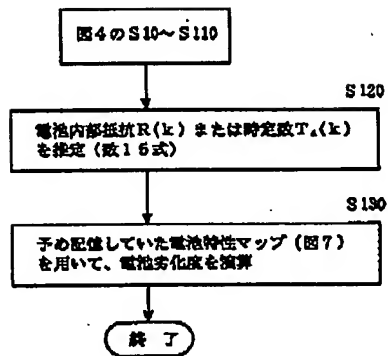
(図5)



(17) 2003-75518 (P2003-755JL)

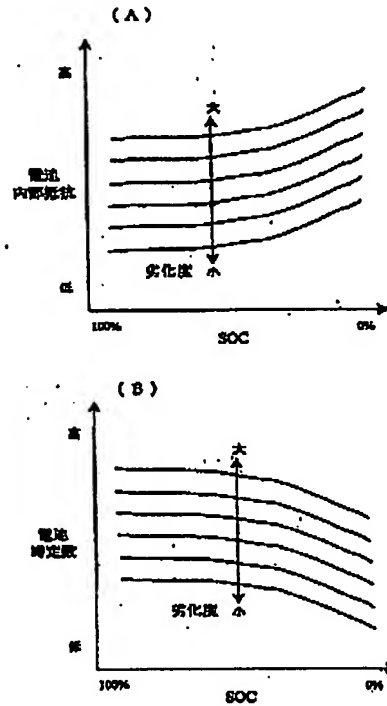
【図6】

(図6)

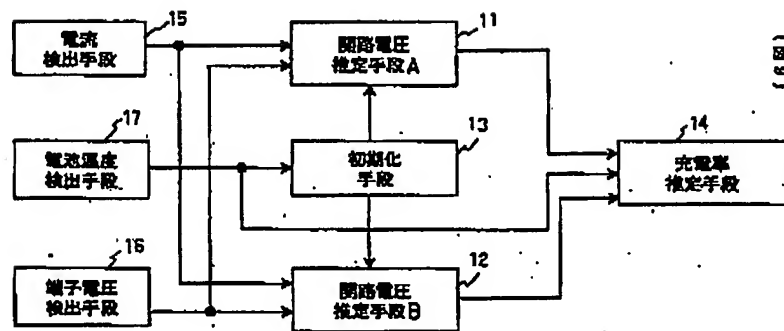


【図7】

(図7)



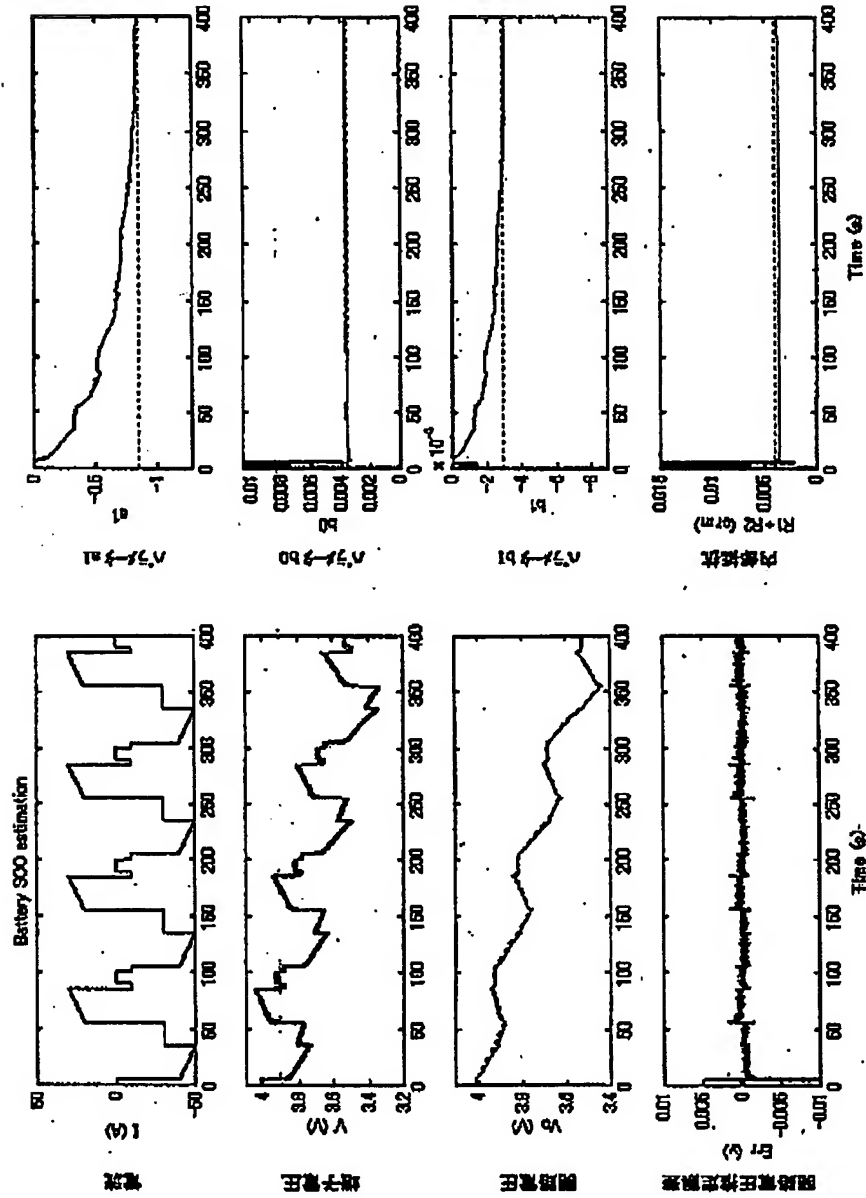
【図9】



(18) #2003-75518 (P2003-755JL

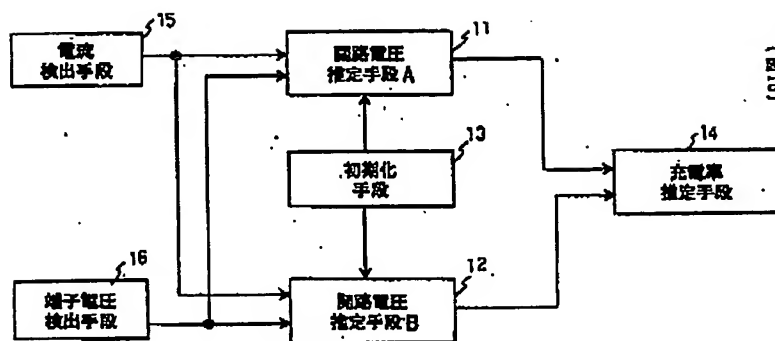
【図8】

(図8)

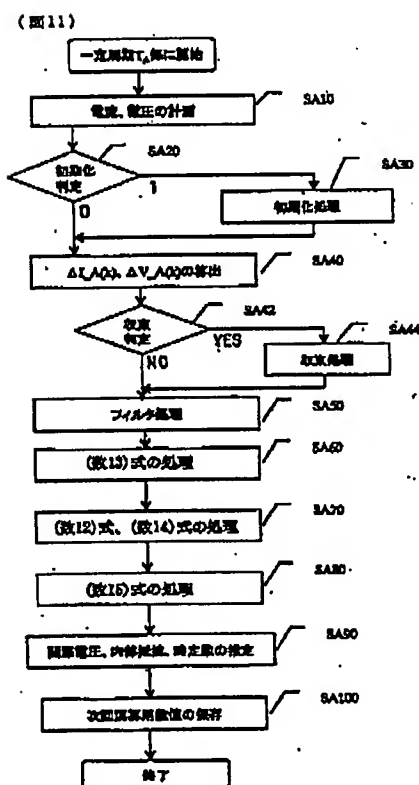


(19) #2003-75518 (P2003-755)JL

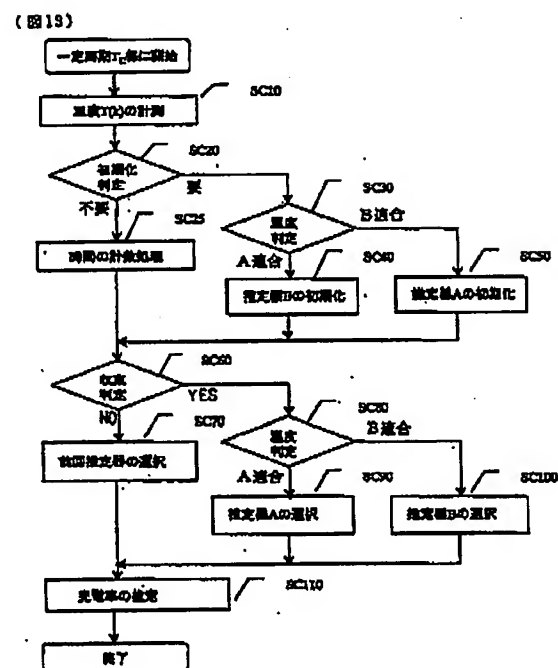
【図10】



【図11】



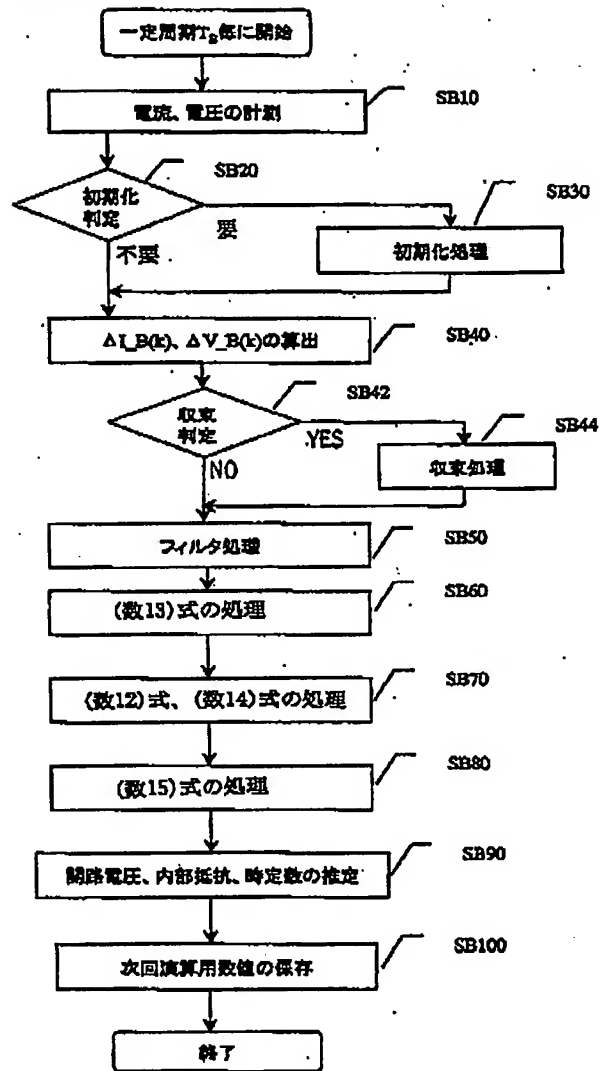
【図13】



(20) 2003-75518 (P2003-755JL)

【図12】

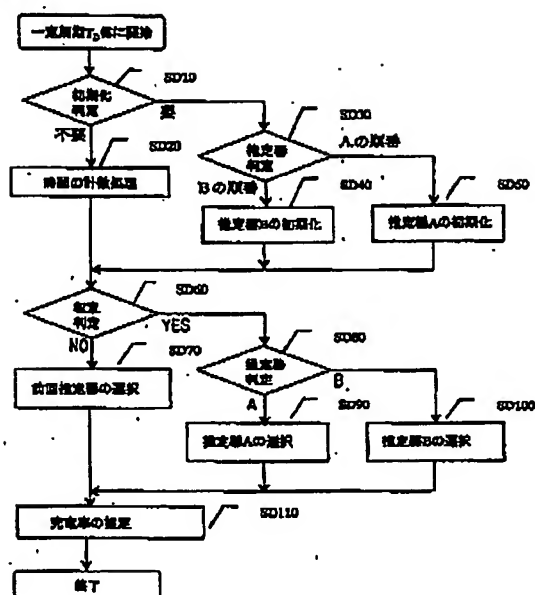
(図12)



(21) 2003-75518 (P2003-755JL

【図14】

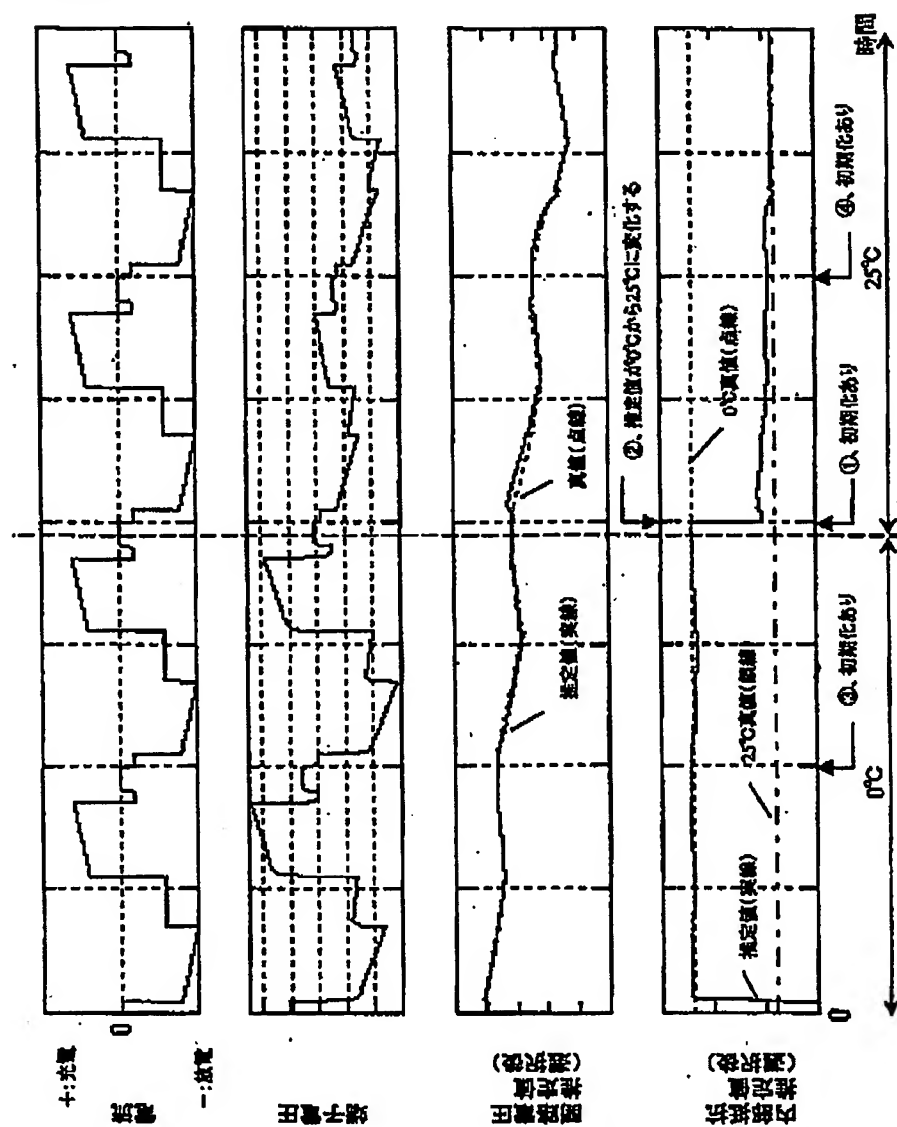
(図14)



(23) 2003-75518 (P2003-755JL

【図16】

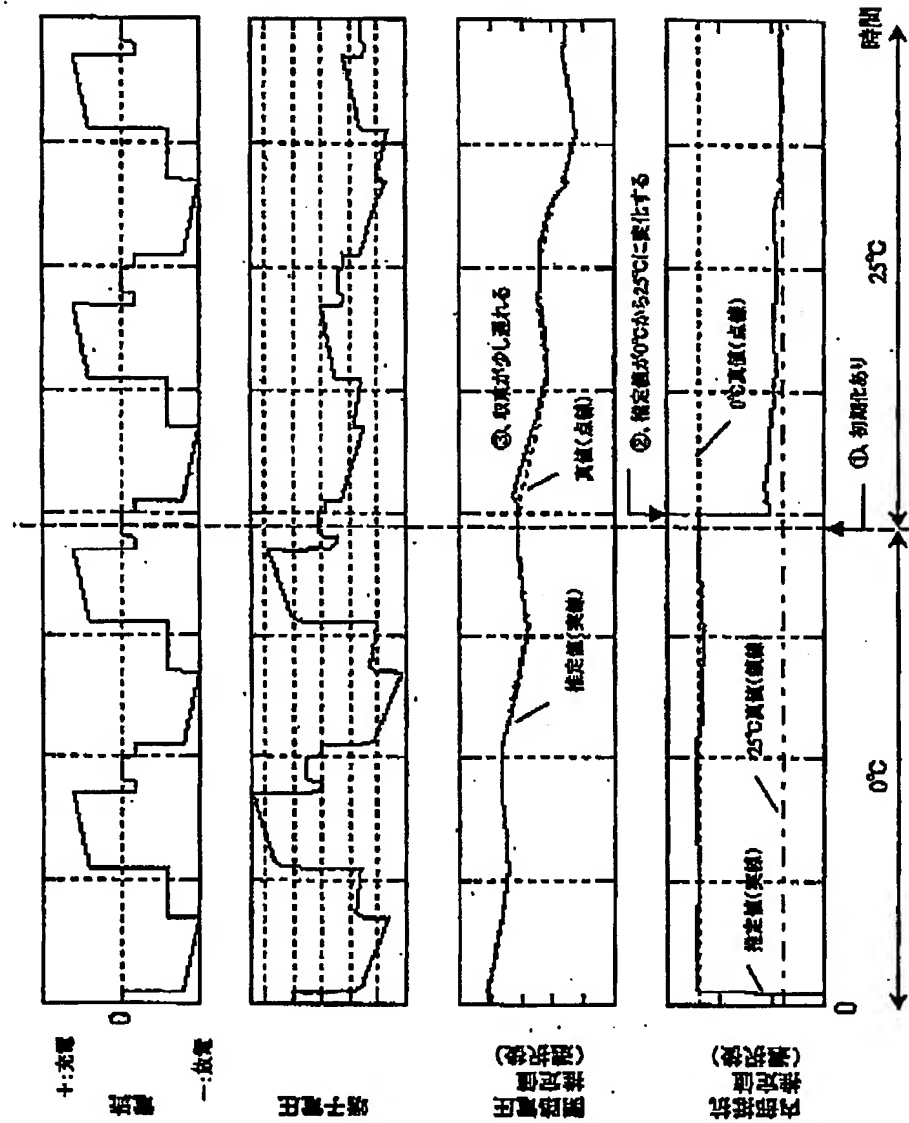
(図16)



(24) 2003-75518 (P2003-755JL)

【図17】

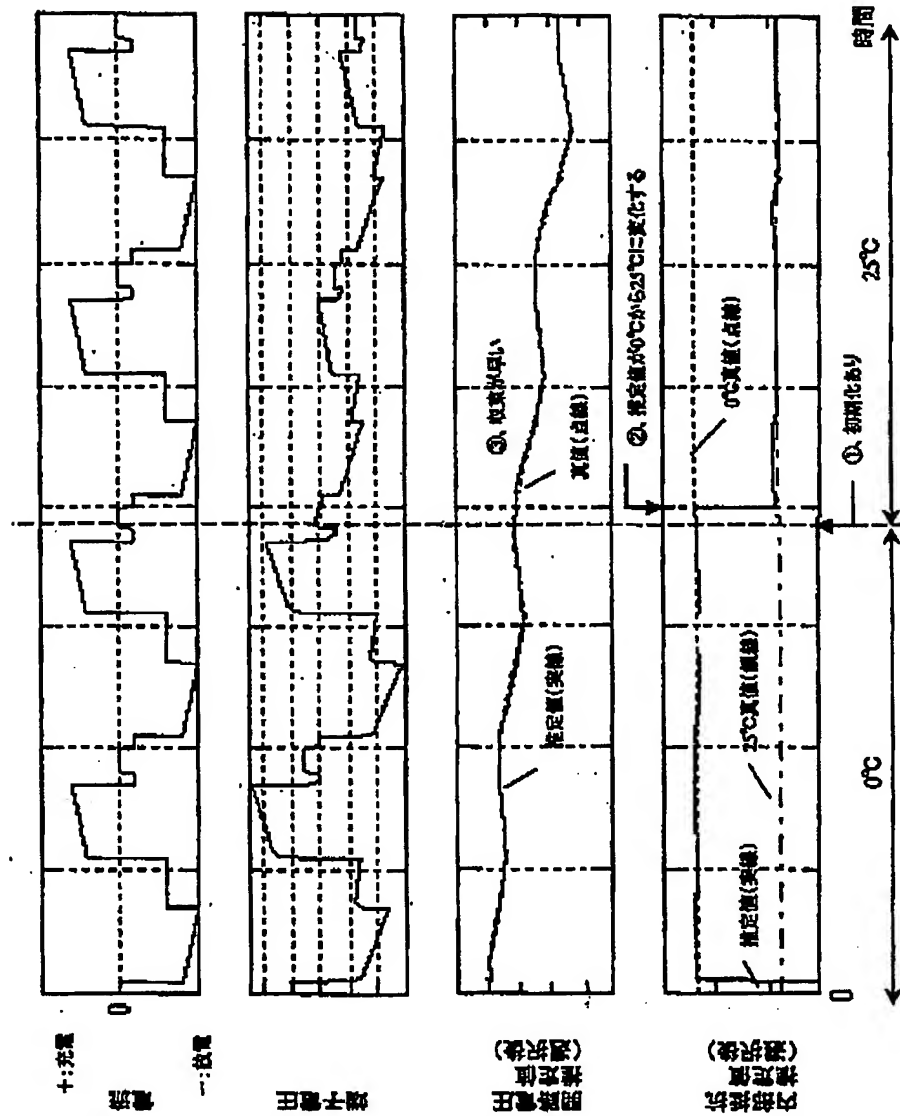
(図17)



(25) 2003-75518 (P2003-755JL

【図18】

(図 18)



(26) #2003-75518 (P2003-755JL

フロントページの続き

Fターム(参考) 2G016 CB06 CB11 CB13 CC04 CC13
CC24 CC27 CC28 CD02 CD18
CF06
5G003 BA01 DA02 EA05 GC05
5H030 AA03 AA06 AS08 FF22 FF42
FF44